第25講　総合演習3

1

問1　図1に示されている波を考える。この図はある媒質の時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ での変位を表したものである。x 軸上にある媒質は y 軸方向に振動することができるようになっており，波は x 軸の正の向きに進んでいる。波は振幅が 12cm の正弦曲線であり，波の振動数は 5 Hz とする。以下の問に答えなさい。解答では［　　］の中に適切な数値を記入しなさい。ただし［(エ)］は図示しなさい。

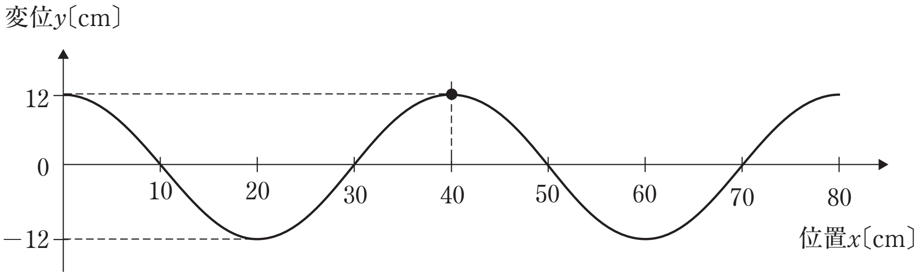
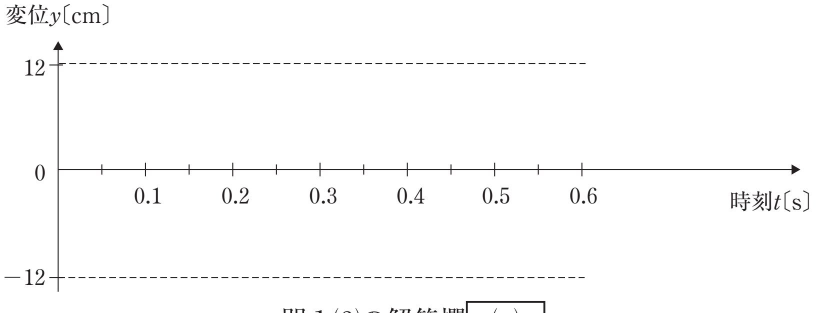


図1

(1)　波の周期は［(ア)］s，波長は［(イ)］cm，速さは［(ウ)］cm/s である。

(2)　$x = 40\,\mathrm{cm}$ の位置にある媒質の $t = 0 \sim 0.6\,\mathrm{s}$ の範囲での変位を解答欄［(エ)］に図示しなさい。



問1(2)の解答欄［(エ)］

(3)　図1の状態から，時間が 0.55 s 経過した後の波形において，$x = 0 \sim 50\,\mathrm{cm}$ の範囲で，変位 y が正の方向に最大値になる x の値は［(オ)］cm である。

(4)　図1の $x = 80\,\mathrm{cm}$ のところで自由端反射が起きるとすると，$x = 20\,\mathrm{cm}$ の位置において，入射波と反射波でできる合成波の振幅は［(カ)］cm である。また，$x = 80\,\mathrm{cm}$ のところで固定端反射が起きるとすると，$x = 20\,\mathrm{cm}$ の位置において，入射波と反射波でできる合成波の振幅は［(キ)］cm である。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問2　図2に示されているような波を考える。x 軸上にある媒質は，y 軸方向に振動することができるようになっている。波が x 軸の正の向きに速さ v で伝わっていくとき，A を振幅，T を周期，t を時刻とすると，$x=0$ の位置にある原点Oでの媒質は式 $y=A\sin 2\pi\dfrac{t}{T}$ で表される単振動をする。このとき，任意の位置 x での媒質の振動を表す式を考える。以下の問に答えなさい。解答では［　　］の中に適切な数式を記入しなさい。

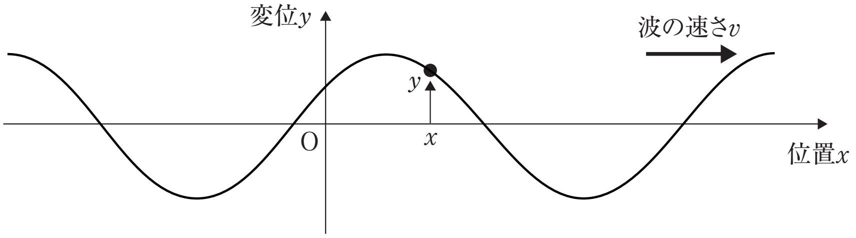


図2

点Oから位置 x に波が伝わるのに［(ク)］だけ時間がかかるから，時刻 t における位置 x での媒質の変位は時刻［(ケ)］における点Oでの媒質の変位に等しい。したがって，時刻 t における位置 x での媒質の変位 y は $y=A\sin\dfrac{2\pi}{T}$(［(コ)］) で表される。この式は波長 λ を使用することにより，$y=A\sin 2\pi$(［(サ)］) で表される。ただし，［(サ)］の解答には速さ v を使ってはいけない。

次に，振幅，周期，波長が図2の波と同じで，x 軸上の負の向きに進む波は $y=A\sin 2\pi$(［(シ)］) で表される。この波は時刻 $t=0$ の瞬間における原点Oでの媒質の変位が0で，波の位相は正の方向に進む波と同位相になっている。ただし，［(シ)］の解答には速さ v を使ってはいけない。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

　焦点距離fの単焦点レンズLをつけたデジタルカメラがある。図1のように，このレンズLの中心から距離aのところに金網があり，その向こう側にある被写体ABを金網を通して撮影することを考える。被写体ABにピントを合わせたときに，デジタルカメラの撮像素子（フィルムカメラのフィルムに相当するもの）の上にできる金網の像がぼけていれば，金網越しでも被写体を見やすく撮影できる。ここではそのための条件を考える。なお，金網はレンズの光軸に垂直で，網目は一辺hの正方形とする。

(1)　図1のように，金網の隣り合う二つの針金交点をP，Qとし，$\overline{PQ}$の中点Oを光軸が通っているとする。点P，Qの像P′，Q′を解答欄に作図して示しなさい。なお，解答欄の図（省略）には，点P，Qからそれぞれ出た2本の光線が途中まで描かれている。解答はこの光線を使って完成すること。

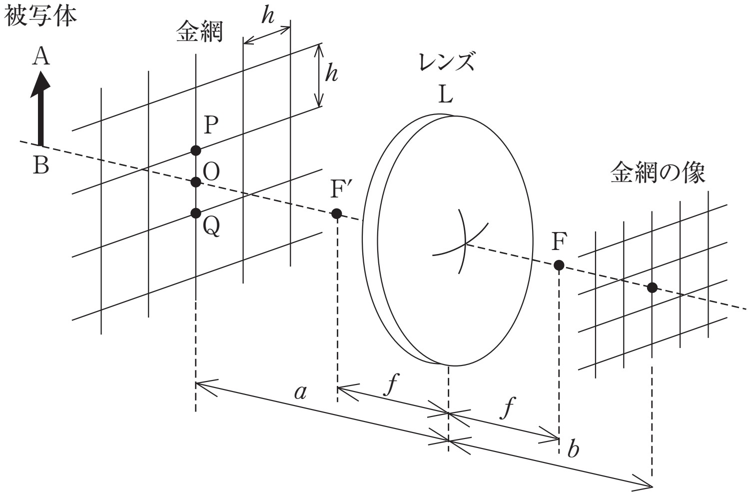
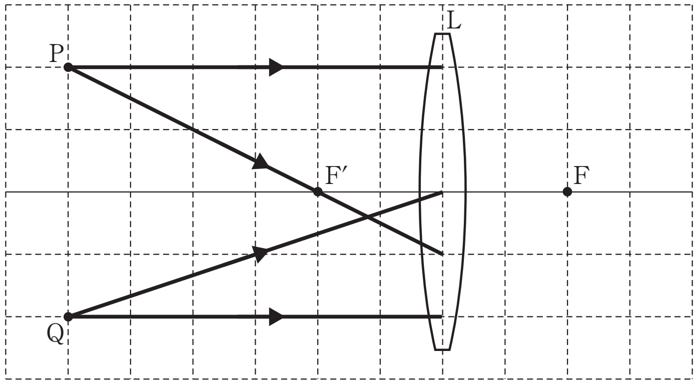


図1



(1)の解答欄

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)　図1のように，金網の像ができる面からレンズLの中心までの距離を b とする。これを f と a を使って示しなさい。

(3)　像P′，Q′を結んだ $\overline{\mathrm{P'Q'}} = h'$ の大きさを f，a，h を使った式で示しなさい。

(4)　いま，レンズLの焦点距離が $f = 50$ mm で，金網は $a = 300$ mm の位置にあり，網目の1辺は $h = 30$ mm であるとする。このとき，金網の像ができる位置までの距離 b とその網目の1辺の長さ h' を求めなさい。

(5)　つぎに，撮像素子をレンズの後方焦点Fと像P′，Q′ができる面の間に位置するように光軸に沿って動かした。もしも図2(a)のような位置に撮像素子がある場合，P，Qから出た光は撮像素子上で互いに重ならず，そこにはぼけた太い網目模様が現れるため，金網の存在を無視することはできない。一方，図2(b)のように撮像素子が後方焦点Fに近い位置にあると，これらの光は撮像素子上で互いに重なり合うため，網目模様は認識しにくくなる。この重なりが生じ始めるのは，撮像素子を点Rに位置するように動かしたときである。設問(4)の条件の場合に対する，レンズの中心から点Rまでの距離 c を求めよ。ただし，レンズの直径は $D = 34$ mm とする。

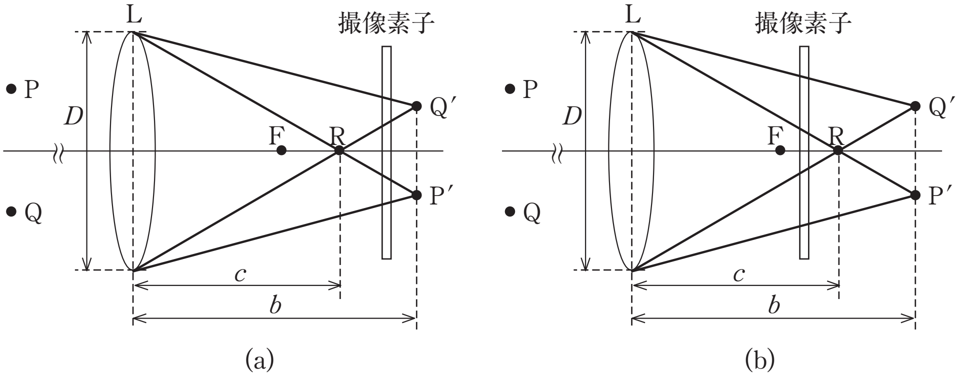


図2

(6)　図2(b)のように，PとQから出た光が互いに重なり合う位置にある撮像素子上に被写体の実像ができるようにすれば，金網越しでも被写体の像を見やすく写すことができる。レンズの前方（金網側）のどの位置にある被写体であればそれが可能か，その位置の範囲を示しなさい。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

コンパクトディスク（CD）の記録面が虹色に見える現象を題材にして，光の性質を観察する実験を考えよう。

CD の記録面は図１のような構造で，図２の断面図に示すように，透明基板の下層に反射膜が塗布された面があり，その面上にピットと呼ばれる情報が記録されている部分が半径方向に間隔 d で周期的に並んでいる。ピットのない部分では光がそのまま反射されるが，ピットの部分で光が乱反射されると仮定する。このとき，CD の記録面は格子定数 d の回折格子とみなすことができる。ピットは曲線上に並んでいるが，狭い範囲について考えたときは直線に並んでいると考えて差し支えないものとする。

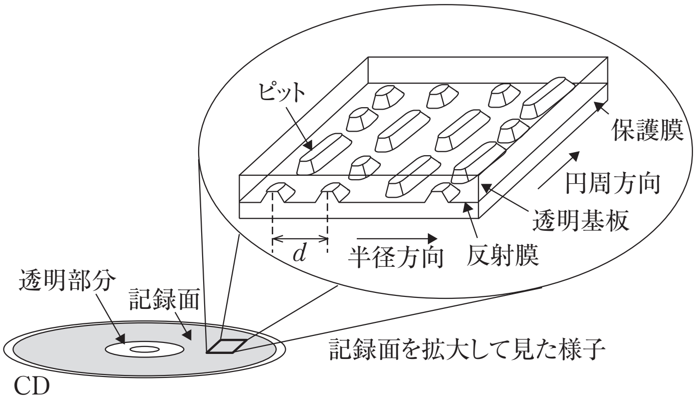


図１

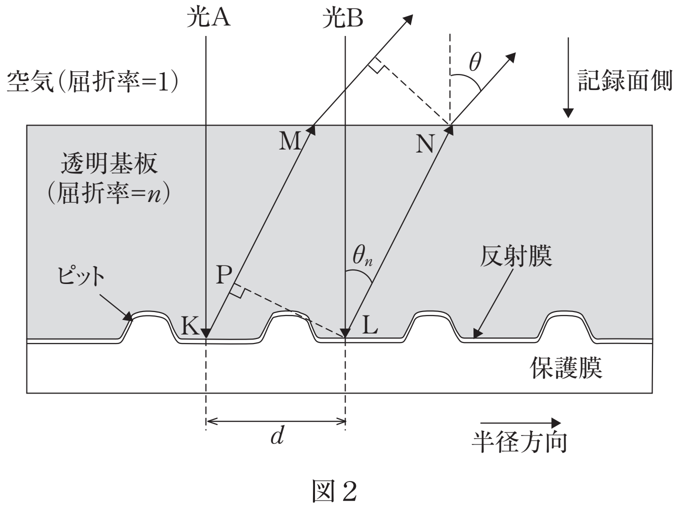


図２

〔A〕

図３のように白い紙で作ったついたてに小さな穴 W を開け，その裏側からレーザー光を CD の記録面に対して垂直に照射して，その反射光をついたて上で観察する。レーザー光の空気中での波長を λ，空気の屈折率を１とする。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

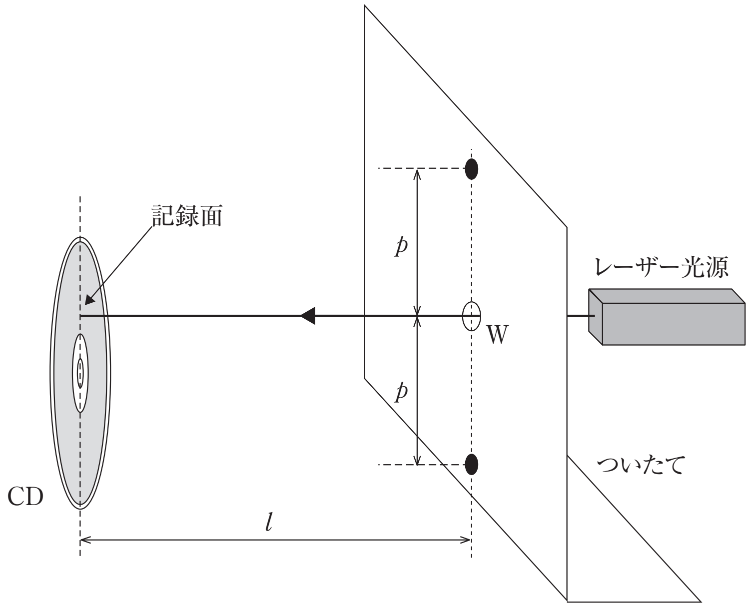


図３

(a)　以下の空欄①～④に入る適切な数式を答えよ。

図２に示すように，間隔 d だけ離れて透明基板に入射する光Ａと光Ｂを考える。屈折率 $n\,(>1)$ の透明基板中で，光Ａは点Ｋで反射膜に対して垂直に入射し，回折した光が点Ｍから透明基板を出ていく。光Ｂは点Ｌで反射膜に垂直にあたり，その回折光は点Ｎから出ていく。このとき，距離 KP が光の波長の整数倍であれば，光Ａと光Ｂは強めあうことになる。透明基板中での光の波長は［①］で与えられるので，透明基板中で回折光が入射光となす角を θ_n とすると，強め合う条件は［②］$= m$［①］（m は整数）となる。

光Ａと光Ｂがそれぞれ点Ｍと点Ｎで透明基板を出た後，基板表面の法線に対して θ の方向に進む。θ は，n および θ_n と［③］の関係を持つ。この関係式を用いて θ_n を消去すると，CD から十分離れたスクリーン上で強め合う条件は，$d\sin\theta =$［④］となる。

(b)　透明基板中で回折光の角 θ_n が大きいとき，透明基板から空気中へ出ていく光がなくなる場合がある。その理由を述べよ。またそのときの角 θ_n が満たす関係式を示せ。

(c)　図３の実験において，CD とついたての間の距離 l が 300 mm のとき，小さな穴Ｗの上下に $p = 100$ [mm] だけ離れた位置に一つ目の回折光が観察された。レーザー光の波長が 0.50 μm であるとき，格子定数 d は何 μm であるか。有効数字２桁まで求めよ。なお，これ以降の議論では透明基板の厚さは無視してよい。また，必要であれば以下の値を用いてよい。

$\sqrt{2} \fallingdotseq 1.41$，$\sqrt{3} \fallingdotseq 1.73$，$\sqrt{5} \fallingdotseq 2.24$，$\sqrt{10} \fallingdotseq 3.16$

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔B〕

次に，図4のように白熱灯光源から出た光が小さな穴W′を通り，凸レンズにより平行な光となってCDの記録面全体へ垂直にあたるようにした。図中で点PはCDの中心であり，点PからCDの法線上にzだけ離れた位置QからCD表面を見たとき，赤，黄，緑，紫などの色のついた回折パターンが観察された。ただし観察するときCDに照射される光をさえぎることはないものとする。

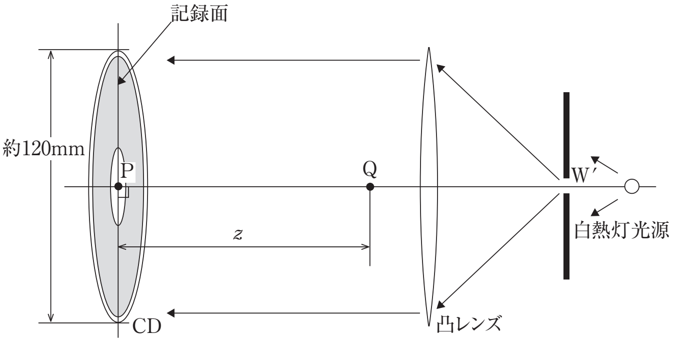
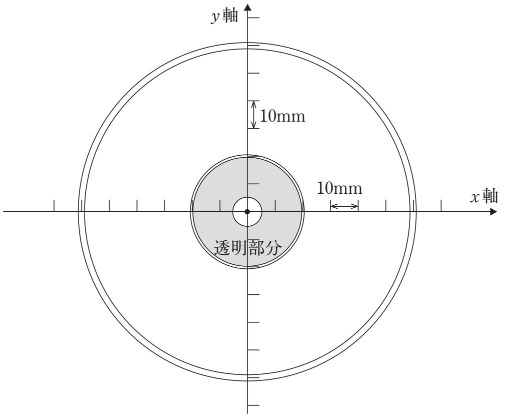


図4

(d)　下の図のように，CDの記録面上に点Pを原点としてx−y座標を定義する。このとき，点Qから見てこの面上で波長λの回折光が強め合う位置の座標x，yとPQ間の距離zの間の関係式を求めよ。ただしzはx，yよりも十分大きく，$x^2+y^2+z^2 \fallingdotseq z^2$としてよい。

(e)　$z = 120$ [mm] としたとき，紫色（$\lambda \fallingdotseq 0.40$ [μm]）から赤色（$\lambda \fallingdotseq 0.64$ [μm]）に変化する虹色の回折パターンがどのように配置されるか，下の図の目盛りを参考にして，おおよその形を描き入れよ。



図中のx軸，y軸の目盛りは10mmとする。

(e)の解答欄

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第25講　確認テスト

［　　］にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

(1)

室温 t_0［℃］の部屋で次の実験を行なった。この温度での空気中の音速は340m/sであるとする。

(a)　長さ $l=60$cm で一様な線密度の弦の中央をはじいて基本振動を生じさせる。500Hzの音になるように弦の張力を調節した。このとき，弦を伝わる波の速さは［ア］m/sであり，空気中を伝わる弦の音の波長は［イ］cmである。

［ア］，［イ］の解答群

① 0.68	② 60	③ 68	④ 300
⑤ 340	⑥ 440	⑦ 500	⑧ 600
⑨ 1200			

(b)　垂直に立てたガラス管に水を入れ，管口近くでおんさを鳴らしながら，水位を下からゆっくり上げていく。水面から管口までの距離を L［cm］とする。$L=L_1$ で共鳴が起こり，更に水位を上げると $L=L_2$ のときに共鳴が起こった。$L=L_1$ のときにできる定常波の節の個数は［ウ］である。ただし，管口は定常波の腹になっているものとする。

［ウ］の解答群

① $\dfrac{L_1+L_2}{2(L_1-L_2)}$　② $\dfrac{L_1+L_2}{L_1-L_2}$　③ $\dfrac{3L_1-L_2}{2(L_1-L_2)}$　④ $\dfrac{3L_1-L_2}{L_1-L_2}$

管の全長が120cmのとき，管の下端から上端まで水位を変化させると，500Hzのおんさとの間に［エ］回共鳴が起こる。

［エ］の解答群

① 0	② 1	③ 2	④ 3
⑤ 4	⑥ 5	⑦ 6	⑧ 7
⑨ 8			

管口から水面までの距離を50cmに固定して，管口近くにスピーカーを置いて音を出す。音の振動数を40Hzから2000Hzまで連続的に変化させると，［オ］回共鳴が起こる。

［オ］の解答群

① 0	② 1	③ 2	④ 3
⑤ 4	⑥ 5	⑦ 6	⑧ 7
⑨ 8			

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(2)

室温が t_0［℃］から下がったとき，長さ l［cm］の弦と，管口と水面の距離が L［cm］の管の固有振動数の変化を正しく記述しているのは［カ］である。ただし，L，l および弦の張力と線密度は温度変化の影響を受けないものとする。

室温を t_0［℃］に保ち，部屋全体をヘリウムの気体で満たす。このとき，弦と管の固有振動数の空気中の値からの変化を正しく記述しているのは［キ］である。ただし，ヘリウム気体中の音速は空気中の音速の約 3 倍とする。また，L，l および弦の張力と線密度はヘリウムの影響を受けないものとする。

［カ］，［キ］の解答群

	弦の固有振動数	管の固有振動数
①	変化しない	変化しない
②	変化しない	増加する
③	変化しない	減少する
④	増加する	変化しない
⑤	減少する	変化しない
⑥	増加する	増加する
⑦	減少する	減少する
⑧	増加する	減少する
⑨	減少する	増加する

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 25 講　解答

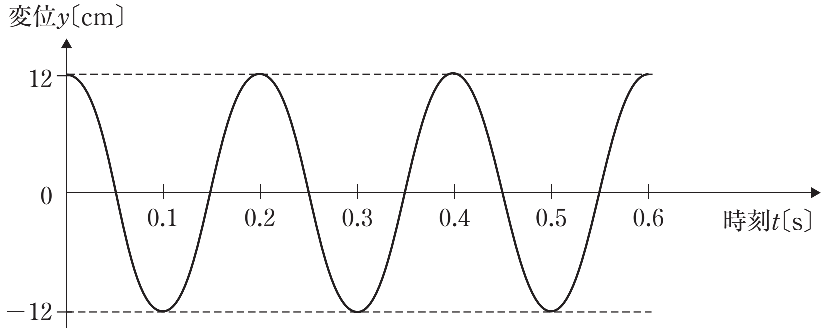
1

(ア)　0.2　(イ)　40　(ウ)　200　(エ)　下図　(オ)　30

(カ)　24　(キ)　0　(ク)　$\dfrac{x}{v}$　(ケ)　$t-\dfrac{x}{v}$　(コ)　$t-\dfrac{x}{v}$

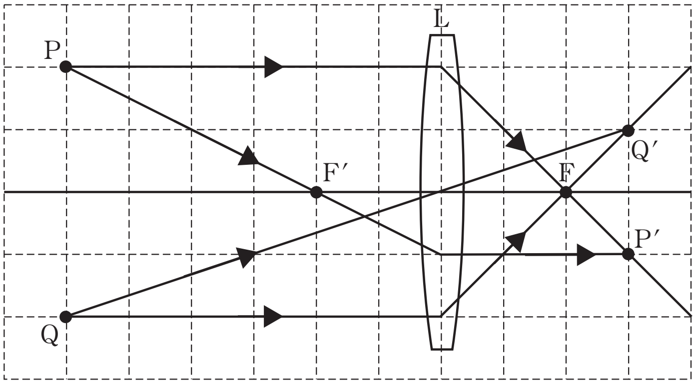
(サ)　$\dfrac{t}{T}-\dfrac{x}{\lambda}$　(シ)　$\dfrac{t}{T}+\dfrac{x}{\lambda}$

(エ)の解答



2

(1)　次図　(2)　$b=\dfrac{af}{a-f}$



(3)　$h'=\dfrac{hf}{a-f}$　(4)　b＝60 [mm]，h'＝6 [mm]

(5)　c＝51 [mm]　(6)　2550 [mm] 以上

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

(a)　①　$\dfrac{\lambda}{n}$　　②　$d\sin\theta_n$

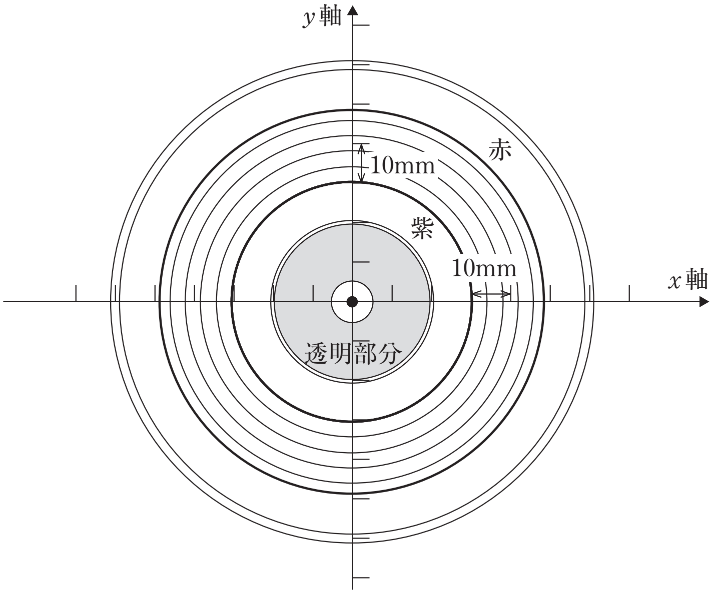
③　$n\sin\theta_n=\sin\theta$　　④　$m\lambda$

(b)　理由　屈折の法則をみたす θ が存在しなくなり，透明基板と空気の境界面で全反射するから。，関係式　$\sin\theta_n>\dfrac{1}{n}$

(c)　1.6μm

(d)　$\dfrac{d\sqrt{x^2+y^2}}{z}=m\lambda$

(e)　次図



図中の x 軸，y 軸の目盛りは10mmとする。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第25講　確認テスト

【解答】

(1)

(a)　ア　⑧　　イ　③

(b)　ウ　③　　エ　⑤　　オ　⑦

(2)　カ　③　　キ　②

【解説】

(1)

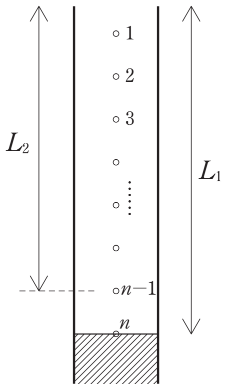
(a)　基本振動ゆえ，波長は $2l=120$ [cm]。よって，速さ v は

$$v=f\lambda=500\times1.2=\mathbf{600}\ [\text{m/s}]_{\text{ア}}$$

音波の波長 λ' は

$$\lambda'=\frac{V}{f}=\frac{340}{500}=\mathbf{0.68}\ [\text{m}]_{\text{イ}}$$

(b)　図の様に，節の位置と番号を設定すると，等差数列の公式から



$$L_1=\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{2}(n-1)$$

$$L_2=\frac{\lambda}{4}+\frac{\lambda}{2}(n-1-1)$$

２式より λ を消去して，

$$n=\frac{\mathbf{3L_1-L_2}}{\mathbf{2(L_1-L_2)}}{}_{\text{ウ}}$$

閉管の固有振動数の式は L [m] とすると

$$f=\frac{V}{4L}\times(2m-1)\qquad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots)$$

これに $f=500$ [Hz]，$V=340$ [m/s] を代入すると，L は

$$L=\frac{340}{4\times500}\times(2m-1)=0.17\times(2m-1)\ [\text{m}]=17\times(2m-1)\ [\text{cm}]$$

よって，L を $0\sim120$ [cm] の範囲で動かすとき，

$$0<17\times(2m-1)<120$$

これを満たす奇数 $(2m-1)$ の値は，1，3，5，7 の **4** 回$_{\text{エ}}$

また，$L=0.5$ [m] として，f を 40 [Hz] ～ 2000 [Hz] とするとき，

$$40<170\times(2m-1)<2000$$

これを満たす奇数 $(2m-1)$ は，1，3，5，7，9，11 の **6** 回$_{\text{オ}}$

(2)

③$_{\text{カ}}$

②$_{\text{キ}}$